

Analysis of application and control strategy of energy storage system in microgrid

Man Li² Chengcheng Song¹ Dayang Wang¹

1. State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Lu'an Power Supply Company, Lu'an, Anhui, 237000, China

2. State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Lu'an Yeji Power Supply Company, Lu'an, Anhui, 237431, China

Abstract

This paper focuses on the application and control strategies of energy storage systems in microgrids. It systematically analyzes the core functions of energy storage systems in improving energy utilization efficiency, supporting renewable energy integration, optimizing power quality, and enhancing grid stability. The study elaborates on implementation pathways for energy storage management strategies, microgrid dispatching and control methods, and multi-energy coordinated dispatching strategies. Key supporting technologies such as real-time monitoring and dispatching techniques, data-driven intelligent algorithms, and predictive optimization methods are discussed. Challenges at the technological, control, policy, and market levels are identified, highlighting that synergistic optimization between energy storage systems and microgrids plays a crucial role in enhancing system economic efficiency, stability, and flexibility.

Keywords

energy storage system; microgrid; control strategy

储能系统在微电网中的应用与控制策略分析

李满² 宋诚诚¹ 王大洋¹

1. 国网安徽省电力有限公司六安供电公司, 中国·安徽 六安 237000

2. 国网安徽省电力有限公司六安市叶集供电公司, 中国·安徽 六安 237431

摘要

本文聚焦储能系统在微电网中的应用与控制策略, 系统分析了储能系统在提高能源利用效率、支撑可再生能源接入、优化电能质量与电网稳定性等方面的核心作用, 阐述了储能管理策略、微电网调度与控制方法及多能源协同调度策略的具体实施路径, 并探讨了实时监控与调度技术、数据驱动与智能算法、预测与优化技术等关键支撑技术。梳理了技术、控制及政策市场层面的挑战, 指出储能系统通过与微电网的协同优化, 对提升系统经济性、稳定性与灵活性具有重要意义。

关键词

储能系统; 微电网; 控制策略

1 引言

微电网对储能系统的依赖日益加深, 储能虽能缓解可再生能源波动、平抑负荷等, 但面临技术、控制及政策市场挑战。本文围绕其应用场景、控制策略及关键技术展开分析, 为微电网高效稳定运行提供参考。

2 储能系统在微电网应用中的现存挑战

储能系统在微电网应用中面临多维度挑战: 技术上, 储能成本居高不下, 尤其高性能化学储能受材料和工艺限制难以大规模普及, 且设备循环寿命与实际需求不匹配, 频繁充放电易致容量衰减, 增加维护成本; 同时, 化学储能的热

失控、物理储能的高压风险等安全隐患, 对微电网稳定构成威胁, 而高比例风光接入的强间歇性也使储能难以精准匹配功率波动, 限制消纳率并加剧功率平衡难度。控制层面, 微电网需兼顾稳定、经济、环保等多目标, 但其耦合与冲突使协同优化建模和求解复杂度大增, 部分策略动态响应滞后, 难以实时调节功率, 且在系统结构变化、参数漂移或外部干扰下鲁棒性不足, 易出现精度下降甚至失稳。政策与市场方面, 储能参与电力市场的机制不完善, 辅助服务价值缺乏明确定价和补偿标准, 导致经济收益难量化, 影响投资意愿, 同时相关标准体系不健全, 不同地区和场景的技术规范存在差异, 阻碍了储能技术的标准化推广与规模化应用^[1]。

3 微电网中的储能系统应用分析

3.1 提高能源利用效率

在微电网中, 储能系统在提高能源利用效率方面发挥

【作者简介】李满(1989-), 男, 中国湖北新洲人, 本科, 工程师, 从事电气工程研究。

着关键作用。从能源管理来看,储能系统能够对微电网内的分布式能源出力进行灵活调节与优化分配,通过存储盈余电能并在能源短缺时释放,减少了分布式能源因出力不稳定而造成的弃能现象,使各类能源得以更充分地利用,从而提升整个微电网的能源综合利用水平;同时,其可以配合能源管理系统实现对能源流动的精细化调控,根据不同时段的能源供需状况合理调度,降低对外部主电网的依赖,进一步优化能源配置效率。而在平衡负荷波动方面,储能系统能够快速响应微电网中的负荷变化,当负荷处于低谷时,将多余的电能储存起来,避免能源浪费;当负荷出现高峰时,释放储存的电能以补充供电,有效平抑了负荷的剧烈波动,减少了因负荷峰谷差过大而导致的发电设备频繁启停,降低了能源损耗,保障了微电网供电的连续性与稳定性,间接提高了能源的利用效率^[2]。

3.2 支撑可再生能源接入

在支撑可再生能源接入方面,储能系统与太阳能、风能等可再生能源形成高效协同,可再生能源出力受自然条件影响具有间歇性,储能系统可在其出力过剩时储存电能,出力不足时释放电能,保障能源持续供应;同时,储能系统能有效平滑可再生能源的波动性,通过快速充放电响应,抑制其出力的剧烈波动,减少对微电网电压、频率的冲击,提升可再生能源在微电网中的消纳率与接入稳定性。

3.3 优化电能质量与电网稳定性

在优化电能质量与电网稳定性方面,储能系统可快速响应微电网的频率与电压波动,当分布式电源出力或负荷突变导致频率偏移时,通过即时充放电调整有功功率平衡,维持频率稳定;面对电压偏差,可通过调节无功功率实现电压支撑,减少电压波动与畸变。同时,储能系统能增强微电网的惯性与阻尼,在系统遭受扰动时抑制振荡,延缓或避免失稳,尤其在高比例可再生能源接入场景下,有效弥补了新能源发电设备惯性不足的缺陷,显著提升了电力系统的整体稳定性。

4 能系统在微电网中的控制策略

4.1 储能管理策略

采用需求响应储能管理策略,根据电力市场价格信号或者用户的用电需求情况进行动态调整储能系统充放电计划,在用电高峰期间对外释放电量降低用电费用,在用电低谷期间对外吸收电量储存,形成储能和外部电网或者用户间的良性互动;采用优化储能充放电策略,即考虑到储能设备的充放电效率、循环寿命等因素,以及微电网能量供需情况,通过储能充放电时间和功率的合理配置,使储能设备不会因为过度充放电或者不合理运行而发生失效,同时最大限度的发挥能源利用率;储能与负荷调度协同控制是将储能系统运营纳入到微电网内各个负荷调度中去,结合负荷的重要性、用电特征、实时能源供应情况等开展储能充放电、负荷启停

或功率调整协调工作,实现能源供需匹配,提高微电网的整体经济性和稳定性^[3]。

4.2 微电网调度与控制方法

微电网的经济调度与最优控制目标是以最低的运行成本为出发点,考虑分布式能源出力情况、储能系统的状况、负荷需要以及电网交易价格等因素,对各路能源出力及储能充放电进行统筹安排,在保障供电可靠性和电能质量的基础上,使能源分配方案更趋合理化,避免大额购电支出,减少设备维保费用;采用基于MPC以及智能算法的调度优化重点在于对微电网系统整体的动态适应性更强,MPC通过对微电网当前的情况进行滚动式优化并根据将来短时的预测值不断进行反馈校正微电网的控制策略来避免系统出现不确定因素;由于智能算法是通过遗传算法以及粒子群算法等来进行求解,在解决多约束以及多目标的微电网调度问题方面非常有力,可以很快地寻找到较优解,并且也能较好地提高微电网运行的灵活程度以及经济性。

4.3 多能源协同调度策略

微电网多能源协同调度策略中,储能和分布式发电单元的协调控制是关键所在,根据实时检测到的分布式电源出力,储能系统能够迅速做出功率补偿,在发电单元出力过大时,吸存电能;在发电单元出力不足时,释能向系统供电,实现分布式电源和负荷间的功率平衡,提高发电单元的利用率;针对微电网中存在的风能、太阳能等波动性较大的能源,采用储能系统与之组成动态匹配机制,在风光出力骤增的时候储存多余的电能避免弃能;在风光出力骤减的时候及时补给电能保证负荷的正常供给,多能源和储能协同优化使得其发挥更大作用,增加供电可靠性和灵活性,减少单能供电系统的使用。如图1所示。

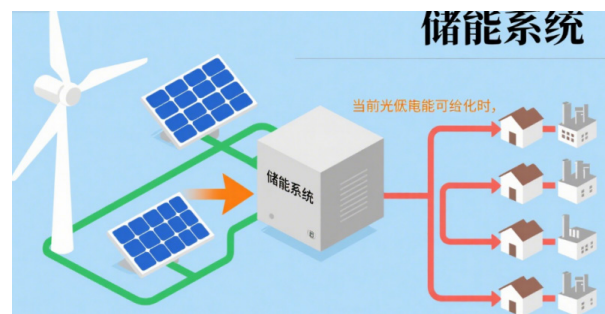


图1 微电网多能源与储能协同调度示意图

5 储能系统与微电网调度优化的关键技术

5.1 实时监控与调度技术

储能系统及微电网调度优化的技术要点之二是实现储能系统在线监测与调度技术,通过构建“感知-分析-决策-执行”的闭环体系进行精细化管理,即在储能系统运行过程中将实时获取系统运行数据,并根据所取得的数据对系统运行状况进行分析并作出及时的处理决定,然后通过对该系统运行状态进行调控保证其能够按照既定的目的展开工作。就

储能系统状态监控和运行优化而言,一方面是在储能设备中和周边安装高精度的传感器、智能数据采集装置对荷电状态(SOC)、充放电功率、温度、循环次数、单体电池一致性等运行参数进行实时、高频次的检测与采集,并经过边缘计算节点处理后再提交给监控平台,平台依据设备出厂信息、历史信息以及设备当前工况采用健康度评估模型来判断当前设备所处的状态、故障隐患及剩余寿命,然后采取差异化充放电策略,如高温状态下降低充放电功率以防止热失控,在荷电状态接近阈值点下平滑过渡到不充不放电以减少容量衰减等,以此使储能系统一直处于安全范围内工作且维持最佳的输出效率。而微电网的实时调度系统则依托高速通信网络与多目标智能优化算法,构建涵盖分布式电源出力预测、负荷实时监测、储能状态反馈、主网交互信息等多元数据的整合平台,系统每5-15分钟更新一次调度周期,基于当前能源供需缺口与短期预测数据,自动生成包含储能充放电计划、分布式电源出力调整指令、可调节负荷控制方案的优化策略,在供需失衡时,能在毫秒级时间内触发储能系统快速放电以填补缺口,或在负荷骤减时指令储能系统吸收多余电能,同时联动调整微型燃气轮机等可控电源的出力,最终实现功率动态平衡、运行成本最低化与可再生能源消纳最大化的多重目标^[4]。如图2所示。

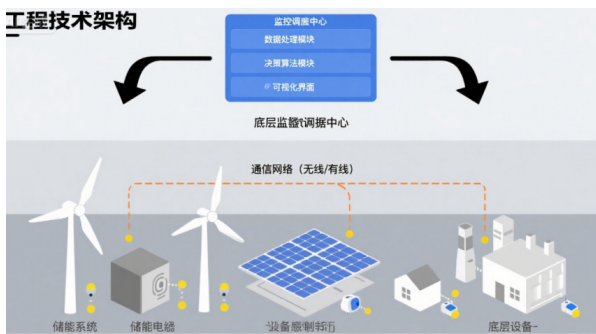


图2 微电网实时监控与调度系统架构图

5.2 数据驱动与智能算

采用数据驱动与智能算法作为储能系统与微电网调度优化的技术要点,结合大数据和机器学习的储能调度优化方法对分布式电源出力、负荷需求、储能设备运行状态、气象信息和电力市场等大量历史和实时数据进行采集,然后用机器学习算法提取其中蕴含的特征,建立准确的预测模型,进而能够对可再生能源出力、负荷变化进行短期甚至超短期的预测,并据此优化储能系统充放电计划,使得储能系统调度

更加贴合实际的运行情况,提高能源的使用效率以及经济效益。利用AI算法对储能系统控制而言同样有着不小的作用,在储能系统与微电网不断交互的过程中可以不断地去运用学习的方法来探索和学习最优的控制策略,并根据变化的状态对充放电参数进行调优;也可以利用深度学习对储能设备运行的数据进行剖析来检测设备存在的一些可能隐患,尽早地进行报警和预防性的维修来保障储能系统安全可靠地运行,提高微电网的综合性和灵活性^[5]。

5.3 预测与优化技术

在储能系统与微电网调度优化的技术当中,预测和优化技术能够更好的提升系统的运行精度与效率,通过储能充放电的历史数据、储能装置的状态信息、微电网内部的分布式电源出力预测信息、负荷需求发展趋势信息等输入内容采用时间序列分析、机器学习等方式构造模型来完成在未来一段时间内储能系统充放电功率、时长以及状态变化的预测,据此可以确定充电/放电的时间、功率大小等,避免由于突发工况出现的调度时滞情况发生;另外,通过采用混合整数规划或者线性规划、粒子群优化、遗传算法等智能优化算法来建立相关的数学模型,把系统调度优化的目标函数设置为经济性/可靠性/可再生能源消纳率,利用储能容量约束/分布式电源出力限制/负荷供需平衡约束,最终确定出各时段内各个储能充放电量大小、分布式电源出力分配及与主网的交换功率等,使其符合系统调度的各项运行约束。

6 结语

综上所述,储能系统在微电网中作用关键,通过充放电调度与协同控制提升了能源效率、促进了可再生能源消纳、增强了电网稳定性,相关策略与技术为解决运行问题提供了路径。

参考文献

- [1] 李晋红.风力发电与储能系统协同优化控制策略在微电网中的应用[J].电力设备管理,2025,(11):91-93.
- [2] 周忠科,张忠友,王晋伟.低碳能源技术前沿追踪的方法与应用[M].企业管理出版社:202310:231.
- [3] 孟垂懿,邹全平.微电网中储能系统的优化配置——评《微电网储能运行控制关键技术及应用》[J].电池,2021,51(01):108-109.
- [4] 吴昌硕,王乐,张攀,等.电化学储能系统在智能微电网中的优化配置与协同控制策略[J].中国信息界,2025,(07):33-35.
- [5] 刘城林.基于退役磷酸铁锂电池的并网型光储微电网全年运行特性分析[J].电气技术与经济,2025,(07):268-272+275.